БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА
Выпуск 182

О. А. БОЙКО

НАЛАДКА КОММУТАЦИИ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА



"ЭНЕРГИЯ"
МОСКВА 1966

В брошюре рассматриваются приемы определения и устранения причин, нарушающих нормальную работу машин постоянного тока. Эти приемы и рекомендуемые нормы допусков длительное время применяются на практике предприятием Ленэнергоремонт Министерства энергетики и электрификации СССР. Брошюра предназначена для квалифицированных электромонтеров, занимающихся эксплуатацией и ремонтом машин постоянного тока.

Предисловие

Работы по наладке коммутации машин постоянного тока требуют больших затрат труда и времени и должны выполняться тщательно, в определенной последовательности и без отступлений от принятой программы. Эти работы следует проводить в два этапа. На первом этапе устраняются все сколько–нибудь влияющие на процесс коммутации причины механического характера, восстанавливается до нормы симметричность расположений полюсов и щеточных рядов по окружности, с минимальным отклонением от средней величины устанавливаются воздушные зазоры под всеми полюсами. Эти причины, даже при незначительном их проявлении, в большой степени влияют на ширину и форму области безыскровой коммутации и в совокупности своей могут вызвать сильное искрение. Поэтому только после выполнения указанных работ следует переходить ко второму этапу наладки машины, на котором производится регулировка воздушных зазоров под дополнительными полюсами с целью создания оптимального коммутирующего поля. Иногда может создаться ложное представление о бесцельности тщательного устранения магнитной асимметрии, основанное на том, что отдельные машины устойчиво работают при наличии значительных отступлений от норм симметрирования. В этой связи необходимо отметить, что можно удовлетворительно настроить машину при значительном нарушении норм симметрии, располагая отдельные ее элементы в определенном порядке, а вернее в беспорядке, но сделать это настолько трудно, что устойчивую работу в этих случаях можно считать, результатом удачного совпадения. При проведении наладочных работ совершенно недопустима небрежность и неточность, поэтому следует все измерения и записи результатов измерений производить с большой тщательностью и сразу же по их исполнении.
Наладочные работы уже по своему наименованию предполагают меры по улучшению работы машины, а потому нет никакой необходимости проводить мероприятия, указанные в дальнейшем, если машина работает хорошо.

1. Предварительное обследование машины.

Основным проявлением почти любых неисправностей машин постоянного тока является подщеточное искрение на коллекторе, которое приводит к быстрому износу меди и щеток. Образующееся при этом большое количество медно–угольной пыли приводит в свою очередь к быстрому и часто устойчивому снижению изоляции обмотки якоря. Искрение на коллекторе может быть вызвано рядом причин механического, электромагнитного, электрохимического, термического характера и т. п. Основное влияние на коммутацию имеют причины электромагнитного и механического характера. К причинам механическим относятся: состояние коллектора (биение, монолитность, качество обработки), вибрация якоря или коллектора и т. п. К причинам электромагнитного характера относятся: симметричность расположения полюсов, исправность обмоток якоря и магнитной системы, соответствие силы поля дополнительных полюсов условиям коммутационного процесса и т. п. Следует сказать, что не всякое подщеточное искрение является опасным для машины. Так, точечное искрение, при котором оксидная пленка на коллекторе имеет чистый глянцевый вид с фиолетовым оттенком без следов подгара на коллекторе и матовых полос на рабочей поверхности щеток, не опасно для машины. Искрение же, имеющее форму треугольников или язычков с желтым оттенком, приводит к обгоранию коллекторных пластин, которое не может быть удалено ни протиранием коллектора, ни его шлифовкой, а лишь проточкой его на станке. Еще более опасной степенью искрения является "брызгающее" искрение, которое характеризуется тем, что из–под щеток во время работы машины вылетают искры. Это искрение может испортить коллектор в течение нескольких часов работы.

Опасное искрение легко различить и по внешнему виду рабочей поверхности щеток: на блестящей "активной" поверхности щеток появляется матовая полоса, образующаяся у края щетки. Если машина выводится из эксплуатации не аварийно, то всегда имеется возможность провести предварительное обследование ее с целью собрать максимальное количество сведений, которые могут помочь в определении причин неудовлетворительной работы машины. К таким сведениям следует отнести: величины вибрации коллектора якоря, щеточного аппарата, статора, стульев опорных подшипников; степень и характер искрения щеток на коллекторе; щеточные потенциальные кривые; область безыскровой коммутации; нагрев отдельных узлов, деталей, токоведущих частей и мест их соединений; нагрузочную характеристику и характеристику холостого хода машины. Большое значение может приобрести наблюдение за изменением поведения машины при изменении режимов ее работы. Такие данные целесообразно иметь для каждой машины независимо от качества ее работы. Тогда в случае ухудшения работы можно будет быстро установить причины, вызвавшие это ухудшение.

2. Коллекторы якорей.

В настоящем параграфе коротко рассматриваются конструкции коллекторов и требования, которым они должны удовлетворять. Чаще других встречаются коллекторы арочного типа (рис. 1) и коллекторы с бандажными кольцами с посадкой на конусы (рис. 2) или с посадкой на конусных втулках (рис. 3). Реже встречаются коллекторы с комбинированной посадкой (одна сторона арочная, а другая на конусе)" и с мембранной подвеской, Для обеспечения надежного контакта со щеткой коллектор должен обладать строго цилиндрической формой по всей своей длине. Допустимая величина биения коллектора в зависимости от скорости вращения машины может изменяться в больших пределах. Так, у машины со скоростью вращения 3000 об мин. биение коллектора не должно превышать 0,02 *мм*., но уже для машины, работающей с 1000 *об. мин*. вполне допустима величина биения 0,05 *мм*.

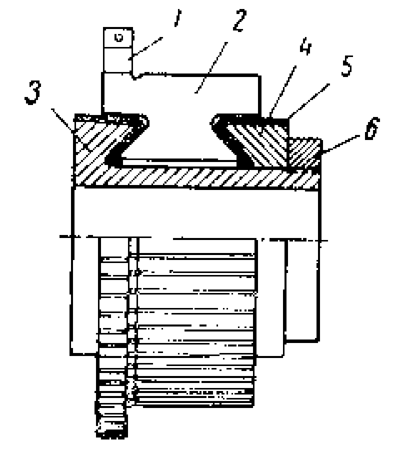


Рис. 1. Коллектор арочного типа.
1 – коллекторный петушок;
2 – коллекторная пластина;
3 – букса с конусом; 4 – нажимной конус;
5 – миканитовая манжета;
6 – нажимная гайка.

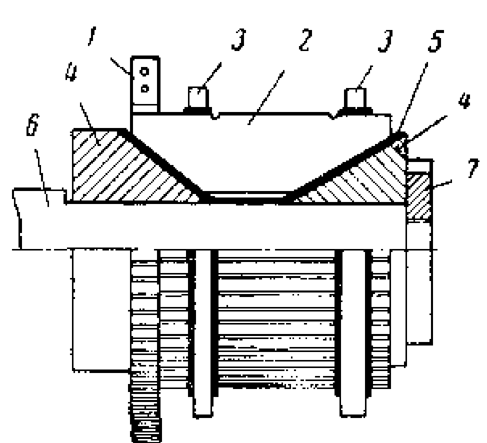


Рис. 2. Коллектор с бандажными кольцами на конусах.
I –коллекторный петушок;
2– коллекторная пластина;
3 – бандажное кольцо;
4 – нажимной конус; 5 –миканитовая манжета; 6 –нажимная гайка.

Выступание же или западание отдельных коллекторных пластин на 0,01–0,02 *мм*. может привести к быстрому обгоранию коллектора любой машины. У машин со скоростями вращения 3000 *об. мин*. и более, выступание отдельных коллекторных пластин даже на несколько микрон может вызвать искрение недопустимой величины. Выступающие пластины могут быть обнаружены при тщательном осмотре коллектора. Они имеют подгоревший сбегающий край, а несколько пластин, следующих за ними, не покрыты оксидной пленкой. Выступающая пластина, кроме того, может выглядеть потемневшей, причем ее набегающий край выделяется отшлифованной полоской, Вообще, если коллектор не имеет ровной, строго однотонной оксидной пленки, а во время работы машины наблюдается искрение, не устраняемое тщательным симметрированием всех элементов машины и дополнительной подпиткой добавочных полюсов, необходимо внимательно исследовать рельеф коллектора, Исследование состояния контактной поверхности коллектора (микрорельефа) представляет собой работу довольно сложную, так как наиболее часто употребляемый для этой цели прибор–индикатор часового типа не обеспечивает нужной точности измерений. Специальные же ультракоротковолновые генераторы для исследования поверхностей вращающихся тел пока являются большой редкостью.

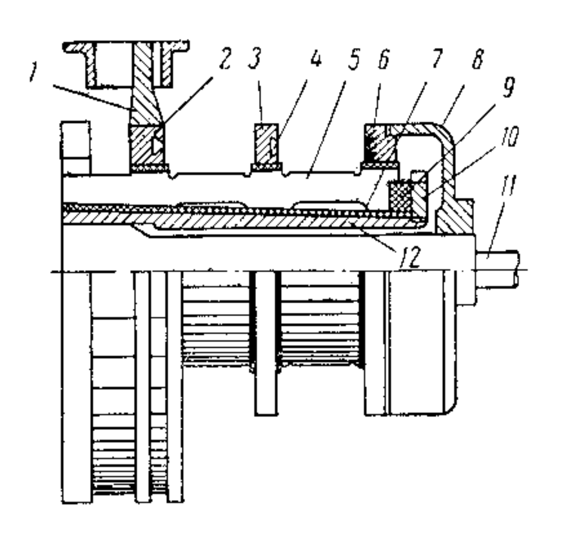


Рис. 3. Коллектор с бандажными кольцами на конусной втулке.
1 – вентилятор; 2 – первое бандажное кольцо; 3 – второе бандажное кольцо;
4 – паз для балансирующего груза;
5 – коллекторная пластина;
6 – третье бандажное кольцо;
7 – миканитовая изоляция; 8 – мембрана (устанавливается "Ленэнергоремонтом" на некоторых якорях); 9 – изоляционная шайба; 10 – нажимная гайка;
11 – вал якоря;
12 – консольная втулка.

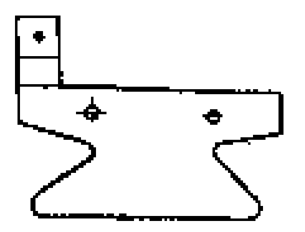
Достаточно доступным и надежным является исследование скользящего контакта пропусканием тока вдоль коллекторных пластин. Метод заключается в том, что на каком–либо бракете (щеточном ряду) два щеткодержателя изолируются от всех остальных держателей этого ряда. Поводки изолированных щеток подключаются к специальным зажимам, устроенным так, чтобы в ходе испытания эти щетки можно было подключать к бракету, на котором они установлены, и к постороннему источнику тока, не изменяя положения щеток относительно коллектора. Опыт начинается с того, что щетки выбранного бракета тщательно притираются и пришлифовываются сначала стеклянной шкуркой, а затем под током, при номинальных оборотах. Сама машина должна быть хорошо прогрета. После этого изолированные щетки отсоединяются от бракета, а между ними и бракетом включается генератор постоянного тока низкого напряжения (к этому времени возбуждение с машины должно быть снято). При номинальной скорости вращения машины, по цепи образованной изолированными щетками, пластинами коллектора и неизолированными щетками, пропускают ток на 20–30% больше суммарной величины токов двух щеток при номинальной плотности тока в них. Если при этом искрения под изолированными щетками не наблюдается, то это значит, что контактная поверхность коллектора и щеточно–коллекторный контакт находятся в хорошем состоянии. Хорошую оксидную пленку на коллекторе необходимо сохранять, не снимая ее без крайней необходимости. Поэтому проточку коллекторов следует производить только при обгорании коллекторных пластин или значительном биении коллектора.

Даже тогда, когда на рабочей поверхности коллектора имеются глубокие кольцевые канавки, выработанные щетками, но машина работает без искрения, коллектор протачивать не следует. В этих случаях следует опасаться только значительного смещения якоря в аксиальном направлении (если конструкция машины допускает такое смещение). При установке на токарный станок для проточки коллектора якорь выставляется по шейкам вала. Допустимое биение шеек вала в основном зависит от угловой скорости его вращения, но даже для самых тихоходных машин оно не должно превышать 0,04–0,05 *мм*. Хорошие результаты получаются при проточке коллектора резцами с напаянными пластинами из твердых сплавов с углом заточки 60–80° в форме резьбового резца при скорости резания 60–120 *м. мин*. Однако всегда необходимо выбирать такие обороты шпинделя, чтобы вибрация станка была минимальной. Подача резца также устанавливается минимальной (в любом случае не более 0,1 *мм*. об.). При последнем проходе резца глубина резания не должна превышать 0,1 *мм*. Якорь тихоходной машины можно вводить в эксплуатацию без шлифовки поверхности коллектора. Коллекторы якорей машин со скоростью вращения 2000 *об. мин*. и более нуждаются в шлифовке. Лучшим материалом для шлифовки являются специальные абразивные бруски на бакелитовой связке, однако они пока являются дефицитными. Продолжительная же шлифовка абразивной шкуркой может испортить рельеф коллектора, поэтому всегда предпочтительней проточить коллектор при минимальных подачах и глубине резания с незначительной последующей шлифовкой стеклянной бумагой, натянутой на деревянную колодку, хорошо подогнанную к поверхности коллектора.

Рис. 4. Нож для снятия фасок.

При правильной обработке коллектора щетки оставляют на коллекторных пластинах след по всей их ширине. При длительной шлифовке абразивами на мягкой основе края пластин заваливаются и щетка не касается их, при этом у краев пластин наблюдаются светлые полоски меди, которых не касались щетки. Для хорошо работающей машины такая обработка коллектора не представляет серьезной опасности, В том же случае, когда после проточки проводятся работы по настройке коммутации машины, этот дефект приводит к неточной ее настройке. После проточки коллектора машины, вводимой в эксплуатацию, удаляют миканит между пластинами на глубину 1–2 *мм*. Эта операция носит название продороживания. При продороживании следует обращать особое внимание на то, чтобы миканит был равномерно удален по всей его толщине и на всей длине коллектора. После продороживания с коллекторных пластин по всей их длине снимают фаски. Для снятия фасок не следует применять шаберы или напильники. Для этой операции применяют острый нож, обычно изготавливаемый из ножовочного полотна, 3 лезвие которого затачивается, как показано на рис. 4. Допустимое срабатывание рабочей части коллектора, т. е. минимальный его диаметр, устанавливается заводом–изготовителем для каждого типа машин. При отсутствии таких данных износ коллектора ограничивается условиями механической прочности и ухудшением коммутации из–за увеличения перекрытия щетками коллекторных пластин. Некоторые иностранные фирмы делают сквозные отверстия в нескольких коллекторных пластинах (рис, 5). Когда на коллекторе появляются небольшие выточки, образуемые этими отверстиями, это значит, что коллектор сработан до минимально допустимого диаметра.

Рис 5. Коллекторная пластина с отверстиями, указывающими на износ до гарантированного диаметра.



3. Магнитная система.

При выверке и регулировке магнитной системы особое внимание надо уделять симметричности расположения ее элементов и проверке сопротивления магнитопровода, Ленэнергоремонтом применяются на практике приведенные здесь нормы и методы регулировки магнитной системы. До начала регулировки магнитной системы статор машины необходимо установить на место по контрольным шпилькам и затянуть крепящие его болты. Воздушные зазоры под главными полюсами, измеренные по всей длине полюсной дуги и с обеих сторон полюсов, не должны отличаться от средней величины более чем на 5%. Также устанавливаются зазоры и под дополнительными полюсами с той лишь разницей, что поверхность этих полюсов, обращенная в сторону якоря, представляет собой плоскость, а потому воздушные зазоры измеряются под серединой сердечников, но тоже с обеих сторон. Зазоры можно измерять, подводя под каждый полюс какой–либо отмеченный зубец якоря, но для большей точности измерений и простоты работы при регулировке магнитной системы целесообразно изготовить контрольный вал (рис. 6), позволяющий измерять не абсолютную величину зазоров, а положение их относительно оси контрольного вала. Расстояние между галтелями у шеек контрольного вала целесообразно выбирать несколько меньшим соответствующего расстояния у вала якоря, что позволит не заниматься точными измерениями расстояний от подшипников до полюсов. Но при этом длины шеек вала следует делать такими, чтобы избежать возможного повреждения рабочей части подшипников концами вала.

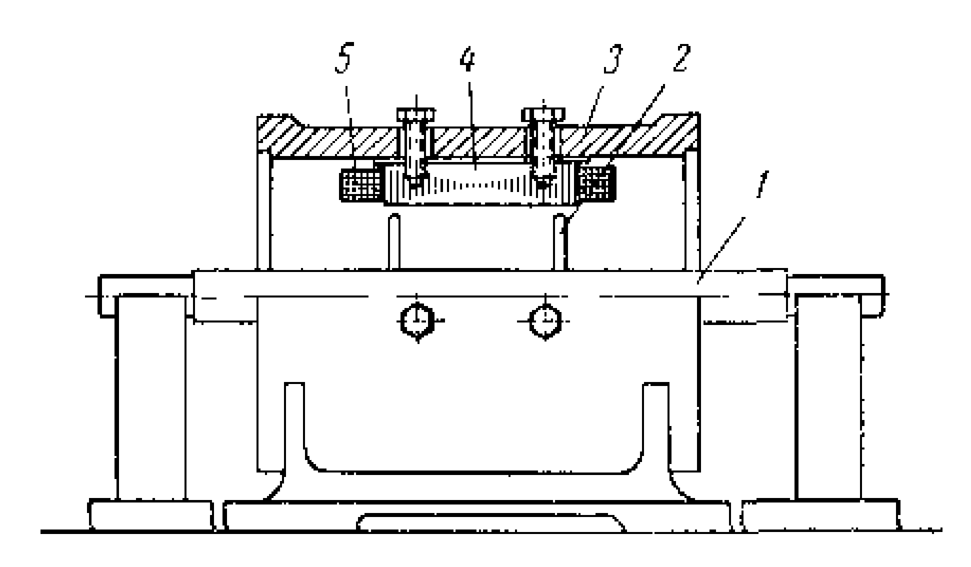


Рис. 6. Контрольный вал в машинной системе.
1 – контрольный вал; 2 – шпильки вяла; 3 – станина; 4 – полюс; 5 – обмотка полюса.

Чистота обработки контрольного вала (за исключением шеек) и его диаметр не имеют влияния на точность измерений. Важно только, чтобы он не прогибался под собственным весом более чем на 0,02–0,03 *мм*., а шейки вала были бы проточены с одной установки. В тело вала ввинчиваются две шпильки. Свободные концы шпилек должны устанавливаться под противоположными сторонами полюсов на расстоянии 10–15 *мм*. от их краев.

Для предотвращения смещения шпилек при работе они закрепляются контргайками. Концы шпилек затачиваются в форме полусфер, что обеспечивает большую точность измерений. Зазоры между полюсами и шпильками измеряются плоским щупом. Одновременно с регулировкой воздушных зазоров необходимо произвести и регулировку расстояний между полюсами. Симметричность расположения полюсов по окружности станины измеряется по расстоянию между краями полюсов при помощи нутромера или путем сноски краев полюсов на прессшпановую ленту, натянутую на активную сталь якоря. Разность расстояний между полюсами не должна превышать 2 мм. Исправность обмоток главных полюсов легко проверяется измерением их активного сопротивления. Сопротивление обмоток, не имеющих повреждений, обычно, не отличается друг от друга более чем на 1%. Если обмотки полюсов имеют параллельные ветви, то измерение сопротивлений необходимо производить раздельно в каждой ветви, предварительно отсоединив перемычки. Для оценки исправности магнитной системы чрезвычайно важно произвести измерение сопротивлений обмоток главных и дополнительных полюсов переменному току. В этом опыте к обмотке возбуждения главных полюсов подводится напряжение сети переменного тока 220 *в*. Если опыт производится на собранной машине, то напряжение следует поднимать плавно реостатом, включенным потенциометром или лабораторным автотрансформатором, если же якорь выведен из машины, то можно подключать обмотку сразу под полное напряжение. После подключения сети измеряют падение напряжения на каждой катушке обмотки. Разница измерений не должна превышать 1–1,5%. Этим опытом проверяется общая магнитная симметрия магнитопровода. Если разность напряжений превосходит указанную величину, а явных дефектов в магнитной системе не обнаружено, то необходимо между ярмом и сердечниками тех полюсов, где падение напряжения выше, заменить магнитные прокладки прокладками из немагнитного материала и добиться симметрии магнитной цепи. Допустимо частичное заполнение стальными прокладками воздушных зазоров (если они имеются) между сердечниками полюсов и ярмом там, где падение напряжения меньше. В тех случаях, когда отсутствуют прокладки и воздушные зазоры между полюсами и ярмом, для выравнивания падения напряжения можно изменять величины воздушных зазоров между полюсами и якорем. Однако если при этом отклонение величины воздушных зазоров между полюсами и якорем превысит 10% среднего его значения, то лучше уменьшить длину корня соответствующего полюса механической его обработкой, а взамен снятого металла установить немагнитные прокладки. Если такие измерения произвести сначала перед вводом якоря в расточку статора, а затем на собранной машине, то можно сделать вывод о качестве произведенной сборки машины, а именно о равномерности распределения воздушного зазора. Так, если распределение напряжения по обмоткам будет одинаковым в обоих случаях, то качество сборки хорошее. Вовсе не обязательно производить эти измерения при одном и том же напряжении источника тока, так как здесь играют роль не абсолютные, а относительные (т. с. выраженные в процентах) величины падения напряжения на катушках. Таким же образом можно проверить и систему дополнительных полюсов, но питающее напряжение для них необходимо снизить до 20–30 *в*. Для этого удобно использовать сварочные трансформаторы.

4. Щеточный аппарат.

В работе коллекторных машин постоянного тока очень важно состояние щеточно–коллекторного контакта, даже незначительные повреждения в аппарате токосъема могут привести к неудовлетворительной работе машины. Щетки в обоймах щеткодержателей должны свободно перемещаться по направлению к коллектору и от него. Зазор между щетками и стенками обойм следует выдерживать в пределах 0,05–0,1 *мм*. по толщине щетки и 0,1 – 0,3 *мм*. по ее ширине.

Увеличенный зазор между обоймой и щеткой, как правило, приводит к повышенной вибрации щеток. Встречаются случаи, когда по каким–либо причинам эксплуатационный персонал самостоятельно изготавливает щетки нужных размеров из щеточных блоков или щеток больших размеров. При этом удобно пользоваться специальными стальными шаблонами (рис. 7), которые обеспечивают достаточную точность подгонки и строгую параллельность граней, Щетка при подгонке укладывается в такой шаблон и притирается на стеклянной бумаге, уложенной на ровную жесткую поверхность, до тех пор, пока обе стенки шаблона не начнут касаться бумаги.

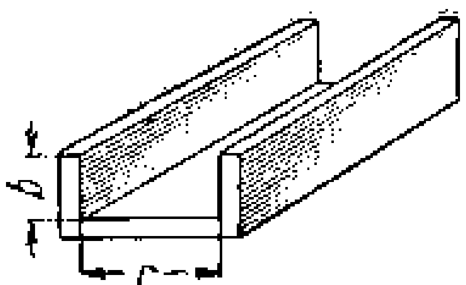


Рис. 7. Шаблон для подгонки щеток.

Для того чтобы каждая грань щетки снималась на одинаковую величину, на каждое подгоняемое измерение изготовляется по два шаблона. Так, если щетка размером 24×30 мм. подгоняется под размер 22×30 *мм*., то следует изготовить два шаблона с размерами: c_1 = 30 *мм*., b_1 =23 *мм*. и c_2 = 30 мм., b_2 = 22 *мм*. Сбегающие края каждого щеточного ряда должны располагаться по прямой линии, параллельной ребрам коллекторных пластин, а разность расстояний между рядами не должна превышать 1 *мм*. Расстановку щеточных рядов производят следующим образом. На коллектор накладывают полосу бумаги шириной, равной ширине активной части коллектора. Бумагу придерживают рукой так, чтобы она плотно прилегала к коллектору по всей его поверхности. Графитом тупо заточенного карандаша через эту бумажную ленту нащупывают любой из промежутков между пластинами и, слегка прижимая карандаш к бумаге (чтобы не прорвать ее), проводят прямую линию, которая должна точно пройти по углублению между пластинами. Если эту линию провести так, чтобы она оставила след на двух нахлестнутых один на другой концах бумажной ленты, то расстояние между этими следами даст величину длины окружности коллектора. Делением длины окружности коллектора на число щеточных рядов машины определяют величину расстояния между щеточными рядами. На бумажной ленте на нужном расстоянии от полученной уже прямой и параллельно ей проводят прямые линии, по которым будет фиксироваться положение щеткодержателей. Расчерченную полосу бумаги вновь плотно накладывают на коллектор, склеивают и слегка скрепляют с поверхностью коллектора, чтобы исключить возможность ее смещения при работе со щеточным аппаратом. После окончания регулировки расстояния между щеточными рядами нужно обязательно вставить щетки в обоймы (хотя бы по одной в каждый щеточный ряд) и по сбегающим краям щеток проверить правильность произведенной регулировки. Эту работу нужно выполнять очень тщательно, так как расхождение в 3–4 *мм*. может существенно ухудшить, а иногда сделать совершенно невозможной нормальную работу машины. Зазоры между обоймами щеткодержателей и коллектором устанавливаются в пределах 2–3 *мм*. Увеличение этого зазора часто приводит к повышенной вибрации щеток в направлении вращения коллектора. Выдерживать одинаковый зазор, под щеткодержателями удобно, если при их установке между коллектором и обоймами прокладывать полосу из гибкого материала толщиной 2–2,5 *мм*., которая легко убирается после закрепления обойм.

Нажатие щеток на коллектор выбирается в пределах, рекомендуемых ГОСТ или заводом–изготовителем для выбранной марки щеток. Для машин тихоходных целесообразно выбирать величину нажатия ближе к нижнему рекомендованному пределу, а для машин со скоростью вращения более 2000 *об. мин.* – ближе к верхнему. Эта рекомендация вызвана естественным увеличением величин вибрации коллекторов и щеточных аппаратов машин с увеличением их номинальной скорости вращения. Излишнее давление щеток на коллектор приводит к быстрому износу коллектора и щеток, а недостаточная величина давления может привести к повышенной вибрации щеток и искрению. Проще всего измерить давление щетки на коллектор динамометром, скрепляемым с токоведущим жгутиком щетки. В момент отрыва щетки от коллектора динамометр укажет приблизительную величину давления. Момент отрыва щетки от коллектора определяется следующим образом. Между коллектором и щеткой прокладывают полоску тонкой бумаги, одновременно с приложением к динамометру силы, которая должна совпадать с направлением движения щетки в обойме, к бумажкой ленте прикладывают небольшое усилие, которое должно совпадать по направлению с направлением касательной линии к коллектору в точке соприкосновения с ним края щетки. Момент выскальзывания бумажной ленты из–под щетки совпадает с моментом отрыва щетки от коллектора. Расхождение в нажатии отдельных щеток не должно превышать 15% величины выбранного значения. В щеткодержателях отечественного производства типа ДГ, у которых не предусмотрена регулировка натяжения пружины, все же можно регулировать величину давления щетки на коллектор в довольно широких пределах, подгибая хвостовик нажимного рычага, к которому одним конном крепится пружина щеткодержателя, Изменение давления достигается не изменением натяжения пружины, а изменением отношения длин плеч нажимного рычага. Кропотливая работа по регулированию нажатия щеток требуется потому, что щетки со значительно большим давлением на коллектор больше загружаются током. Увеличение плотности тока вызывает повышенный разогрев щетки, вследствие чего падает переходное сопротивление в скользящем контакте, что вызывает еще большее увеличение тока в щетке. Неравномерность распределения тока по теткам может достигать значительных величин. Кратность отношения тока максимально загруженной щетки к величине тока в щетках с минимальной загрузкой, даже в тех из них, которые расположены в одном щеточном ряду, может быть более десяти. Наиболее нагруженные щетки при этом начинают искрить, что приводит к порче поверхности коллектора и появлению искрения под всеми или большей частью щеток. Особенно склонны к подобному перераспределению тока щетки марки ЭГ4. По наклону к коллектору щетки разделяются на радиальные и реактивные. Радиальные щеткодержатели должны быть установлены с точностью до 3° по нормали к поверхности коллектора (т. е. по направлению радиуса окружности поверхности коллектора). Реактивные щеткодержатели устанавливаются под углом 30–37° относительно нормали к поверхности коллектора, когда острый угол образуется у набегающего края щетки, и под углом 15–17°, когда острый угол образуется у сбегающего ее края. Угол наклона щеток можно замерить непосредственно угломером по притертой к коллектору щетке. У машин, проработавших длительное время, может наблюдаться устойчивое явление неравномерной выработки коллекторов и внезапно прогрессирующее искрение, приводящее к необходимости преждевременной проточки коллектора. После проточки коллектора и ввода в эксплуатацию такие машины могут довольно долго работать вполне удовлетворительно, а затем все повторяется сначала. Причина этих явлений заключается в износе щеточного аппарата и ослаблении его крепления, в результате чего под воздействием вибрация работающей машины происходит смещение отдельных деталей и узлов щеточного аппарата. В этих случаях необходимо произвести реконструкцию щеточного аппарата.

Встречаются случаи аварийной остановки возбудителей турбогенераторов из–за разрушительного воздействия на коллектор и щетки явления резонансной вибрации щеток. Эксплуатационный персонал каждый раз относился с недоверием к тем простым мерам по ликвидации этого явления, которые ему предлагались. Однако этих мер оказывалось достаточно для восстановления нормальной работы машин. В чем же суть этого вида нарушения нормальной работы коллекторных машин? Детали щеточного аппарата, как система упругих тел, имеют вполне определенную частоту собственных колебаний. Если на систему воздействует внешняя сила с частотой импульсов, равной или очень близкой частоте собственных колебаний этой системы, то амплитуда колебаний системы может значительно возрасти. Это явление называется явлением резонанса. Проще говоря, при определенных условиях внешняя сила небольшой величины может вызвать значительные по величине колебания упругого тела. Не вдаваясь в подробный анализ, скажем, что при работе щетки получают удары, частота и сила которых зависят от ряда причин и, в частности, от скорости вращения, числа пластин коллектора, материала и ширины щеток и т. п. При определенном соотношении указанных факторов, размеров щеток и ширины коллекторных пластин наступает явление резонансного колебания щеток. Большое влияние на частоту и амплитуду колебаний оказывает степень изношенности и качество регулировки щеточного аппарата. При возникновении колебаний резонансного характера без всяких видимых на первый взгляд причин щетки сильно вибрируют, что быстро приводит к наступлению аварийного состояния коллектора и щеток. При этом на боковых гранях щеток появляются несколько размытые отпечатки внутренних поверхностей обойм щеткодержателей. Токоведущие поводки щеток начинают "размочаливаться" и обрываться. Сама щетка может принять так называемую форму сапожка с постепенным разрушением всего тела щетки. Иногда бывает достаточно изменить величину какой–либо из воздействующих на щетку сил, и это явление исчезает, если, конечно, рабочая поверхность коллектора еще находится в удовлетворительном состоянии. Так, достаточно изменить величину силы трения щетки о коллектор изменением плотности тока в щетках, вынув, например, из каждого щеточного ряда по 1–2 щетки или слегка смазать парафином поверхность коллектора, как вибрация щеток резко уменьшается. Вибрация может пропасть при изменении величины нажатии щетки на коллектор, при замене работающих щеток щетками другой марки или после тщательной регулировки щеточного аппарата и особенно угла наклона щеток к коллектору. Для устранения вибрации щеток нами проводились одновременно регулировка щеточного аппарата и пропитка щеток раствором парафина в керосине. Пропитка проводилась раствором 1:10 парафина в керосине в течение 2 *ч*. при температуре раствора 110–130°С с последующей сушкой щеток при температуре 100–110°С в течение 8–10 *ч*. Практически этих мер оказывалось достаточно для достижения нормальной работы машины. Не следует увеличивать количество парафина в растворе и длительность пропитки, так как излишек парафина в щетках приводит к быстрому загрязнению коллектора парафином и к сильному искрению. Судить о хорошем качестве пропитки можно по состоянию абразивной поверхности шкурки при шлифовке щеток. Если при этом на шкурке остается толстый слой парафина с угольной пылью, который не удаляется встряхиванием шкурки, значит в щетки внесен излишек парафина. Такие щетки для удаления излишков парафина следует проварить в чистом керосине с последующей сушкой при указанных режимах. Для равномерного изнашивания активной части коллектора щетками они устанавливаются в определенном порядке, при котором щетки двух соседних рядов скользят по одному щеточному следу, а следы каждой следующей пары рядов (один положительный и один отрицательный) несколько сдвинуты относительно предыдущей пары с таким расчетом, чтобы щеточные следы занимали всю активную часть коллектора. Такое расположение щеток вызвано тем, что степень срабатывания поверхности коллектора щетками разной полярности различна.

При выборе марки щеток для какой–либо машины нужно учитывать все свойства щеток, указанные в технических характеристиках. При таком выборе для каждой машины можно подобрать несколько соответствующих условиям работы марок щеток.
Для того же, чтобы сделать окончательный выбор, необходимо проделать уже более сложную работу. Из всех щеток, подходящих по своим техническим характеристикам для работы на данной машине, лучшими окажутся те, при которых будут обеспечены лучшие условия коммутации при менее интенсивном срабатывании коллектора и щеток. Объективную оценку работы щеток о коммутационном отношении может дать лишь испытание, при котором определяется область безыскровой коммутации. Та марка щеток, которая обеспечит большую ширину области безыскровой коммутации, будет лучшей в коммутационном отношении для данной машины. Часто приходится встречаться с боязнью использовать марки твердых щеток из–за опасения быстрого срабатывания меди коллектора. В этой связи необходимо сказать, что твердость щеток не является решающим фактором в скорости износа материала коллектора. Твердые щетки, каждые в своем соответствующем классе, как правило, обладают лучшими коммутирующими способностями, значит, при использовании таких щеток степень их искрения будет меньше и меньше будет степень износа коллектора. Конечно, если мягкие щетки достаточно хорошо, без искрения работают на коллекторе машины, нет никакой необходимости менять их на более твердые. Наиболее употребительные щетки отечественного производства по их возрастающей коммутирующей способности можно расположить в такой ряд: ЭГ4 ЭГ2а, ЭГ14, ЭГ8, ЭГ74. Общие принципы подбора щеток таковы, что при плохой работе установленных на машине теток, вызываемой их повышенной вибрацией, следует опробовать более мягкие сорта щеток, например ЭГ4, если же щетки не обеспечивают хорошей работы из–за их низких коммутирующих свойств, то следует выбирать щетки более высокого качества, ориентируясь по приведенному ряду. Не всегда, конечно, можно так просто подойти к подбору подходящей марки щеток. Если, например, хорошо коммутирующие щетки марки ЭГ74 имеют повышенную вибрацию, то можно ввести в комплект натурально–графитовые щетки ЭГ4 с тем, чтобы они обеспечили необходимую смазку коллектора. При этом, однако, следует в 1,5–2 раза уменьшить удельное нажатие на смазывающие щетки и располагать их по поверхности коллектора по винтовой линии в ограниченном количестве, необходимом только для смазки всей поверхности коллектора. Для улучшения работы машин с тяжелыми условиями коммутации может стать целесообразным применение сдвоенных щеток и их раздвижки (подробнее смотри в п. 10). Если на машине производились работы, которые могли изменить положение щеток, а также после замены якоря или после его ремонта с перемоткой обмотки или съемом коллектора совершенно необходимо вновь проверить установку щеток в нейтральное положение; нейтральным называется такое положение, при котором в момент замыкания пластин коллектора щетками напряжение между этими пластинами близко или равно пулю. Иногда вызывает недоумение требование заново определять нейтральное положение после ремонта якоря с выемкой обмотки. Эта необходимость вызывается тем, что при укладке обмотки обмотчик никогда не принимает во внимание (да и нет в этом никакой необходимости) имевшийся ранее скос выходящего из паза конца секции, поэтому вполне нормальным следует считать изменение положения щеточных рядов на одну–две пластины коллектора после ремонта с выемкой обмотки. Достаточно точным методом определения нейтрального положения щеток является индуктивный метод. Для установки в нейтральное положение с возможно большей точностью щетки должны быть тщательно пришлифованы к коллектору стеклянной бумагой и приработаны при поминальной скорости вращения. Время приработки при номинальной скорости вращения зависит от твердости щеток и чистоты обработки поверхности коллектора. Так, щетки марки ЭГ74 после шлифовки коллектора абразивным бруском при окружной скорости около 45 *м. сек.* прирабатываются с течение 3–4 суток.

В самом деле, если износ этих щеток за 50 *ч*. работы составляет не более 0,07 *мм*., стоит снять шкуркой с какого–либо края щеток лишних 0,1 *мм*. материала и уже для полного их прилегания потребуется не менее 3 суток.

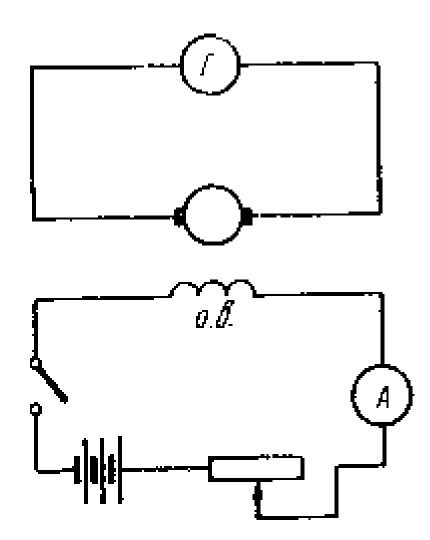


Рис. 8. Схема для установки щеток в нейтральное положение.

При выполнении наладочных работ, когда возникает необходимость часто менять положение щеток, например при определении наиболее выгодной величины раздвижки щеток, можно ускорить процесс пришлифовки щеток. Для этого надо после притирки щеток стеклянной шкуркой развернуть машину до номинальных оборотов и при опущенных на коллектор щетках в течение нескольких секунд произвести шлифовку коллектора абразивным бруском, предназначенным для шлифовки коллекторов. После остановки машину следует продуть сжатым воздухом. Конечно, если машина разворачивалась в режиме двигателя раньше, чем касаться абразивом коллектора, необходимо снять питающее напряжение. Время пришлифовки щеток определяется только временем, потребным для разворота и остановки якоря. Микрозерна абразива, оставшиеся на коллекторе и щетках, на дальнейшую работу машины практически не влияют. Для определения нейтрали собирается схема, показанная на рис. 8. Реостат для этой схемы выбирается таким, чтобы ток в обмотке возбуждения составлял 5–10% величины номинального. Замыкая и размыкая цепь обмотки возбуждения и перемещая траверсу со щетками, нужно добиться такого положения, при котором отброс стрелки гальванометра (*Г*) не будет превышать $^{1}/_{100}$ части шкалы. За отклонением стрелки прибора следует наблюдать в момент размыкания цепи, так как процесс размыкания выполняется более четко, чем процесс замыкания. Опыт повторяется несколько раз в разных положениях якоря, причем траверсу целесообразно каждый раз надежно закреплять, а якорь проворачивать в сторону вращения машины. Это обеспечит большую точность определения нейтрального положения. Следует помнить, что невозможно получить одинаковые показания прибора при различных положениях якоря, поэтому необходимо выбирать некоторое среднее положение траверсы из шести–восьми последних замеров.

5. Магнитное поле машины.

Поле главных полюсов при холостом ходе машины распределяется симметрично относительно оси полюсов $y - y$ (рис. 9). Геометрическая нейтраль, представленная линией $x - x$, проходит перпендикулярно оси $y - y$ посередине расстояния между полюсами. В этом режиме физическая нейтраль совпадает с геометрической. При появлении тока в обмотке якоря сам якорь превращается в электромагнит со своим магнитным полем.

Поле якоря замыкается по той же магнитной цепи, что и поле главных полюсов, и взаимодействуя с ним, изменяет величину и форму основного потока, образуя некоторое результирующее поле (рис. 10, *в*). Это явление называется магнитной реакцией якоря. Если щетки машины установлены на геометрической нейтрали, то магнитное поле якоря располагается так, как указано на рис. 10, *а*.

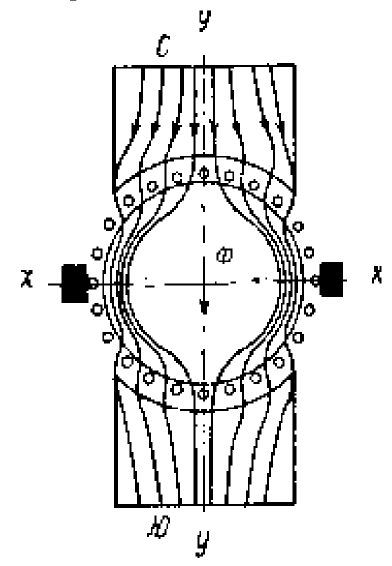


Рис. 9. Магнитное поле возбужденной машины, тока в якоря нет, *Ф* – ось поля.

Направление оси поля якоря при этом совпадает с прямой, соединяющей разноименные щетки. Такая картина возможна лишь в случае, если ток проходит только по обмотке якоря. Если щетки сместить с геометрической нейтрали на некоторый угол *γ*, то при этом обмотку якоря можно представлять уже состоящей из двух обмоток (рис. 10, *б*). Одна из них расположена по дугам *ав* и *cd* и создает поле, ось которого совпадает с осью главных полюсов. Это поле называется продольной составляющей реакции якоря, продольная составляющая оказывает усиливающее или ослабляющее действие на поле главных полюсов. Другая часть обмотки, расположенная по дугам *ав* и *cd*, создает поле, ось которого располагается перпендикулярно оси главных полюсов. Это поле называется поперечной составляющей реакции якоря. Поперечная составляющая, воздействуя на поле главных полюсов, оказывает на него искажающее действие, не меняя его силы.

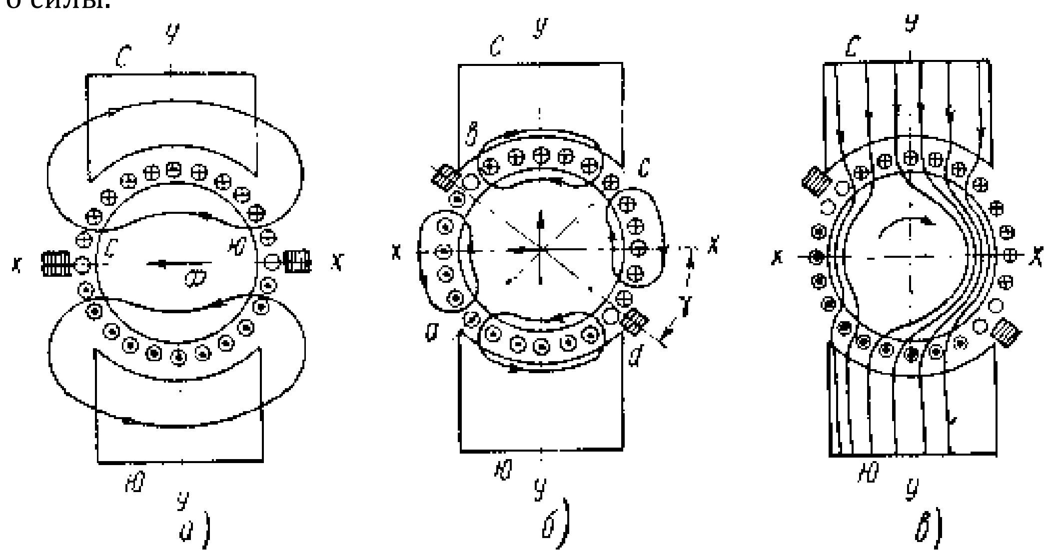


Рис. 10. Образование магнитного поля генератора.

а – магнитное поле якоря при щетках, расположенных на геометрической нейтрали;
б – поле якоря при щетках, сдвинутых на некоторый угол *γ*
в – результирующее поле, сумма поля якоря и поля главных полюсов.

При сдвиге щеток с геометрической нейтрали в сторону вращения якоря генератора продольная составляющая реакции якоря ослабляет поле главных полюсов, т. е. уменьшает среднее значение магнитной индукции в воздушном зазоре, а значит, и э. д. с. машины. При сдвиге щеток против вращения якоря реакция якоря усиливает поле главных полюсов, и э. д. с. машины возрастает. Поперечная составляющая реакции якоря оказывает такое действие на главное поле, что оно у машины, работающей генератором, как бы смещается в сторону вращения якоря, т. е. ослабляется под набегающим краем полюса (сторона, под которую входят проводники якоря) и усиливается под сбегающим его краем (сторона полюса, из–под которой выходят проводники якоря). У машины, работающей в режиме двигателя, основное поле усиливается под набегающим краем и ослабляется под сбегающим краем полюса. Это явление вредно сказывается на процессе коммутации, а поэтому в машинах с тяжелыми условиями коммутации приходится бороться с влиянием поперечного поля введением компенсационной обмотки. Обмотки укладываются в специальные пазы у поверхности главных полюсов и соединяются последовательно с якорем машины. Введение компенсационных обмоток значительно усложняет конструкцию машины и требует значительно большего расхода меди, поэтому компенсационные обмотки устанавливаются только на ответственных машинах (возбудители турбогенераторов, двигатели прокатных станов и т. п.).

6. Общие представления о коммутации.

При работе машины, т. е. когда ее якорь вращается, коллекторные пластины поочередно входят под щетку и перемыкаются ею. Соответственно закорачиваются накоротко и секции обмотки якоря, присоединенные к коллекторным пластинам. Это происходит в тот момент, когда стороны секции находятся в нейтральной зоне. За время, которое секция оказывается закороченной, она переходит из одной параллельной ветви в другую, а ток в ней изменяет направление. Процесс этот называется коммутацией. При изменении тока в секциях в них возникает э. д. с. самоиндукции тем большей величины, чем больше скорость вращения якоря и коэффициент самоиндукции обмотки. Эта э. д. с. по закону Ленца всегда препятствует причине, ее вызвавшей, т. е. при уменьшении тока она действует в сторону его увеличения, а при его возрастании – в сторону уменьшения. Так как щетка перекрывает одновременно несколько коллекторных пластин, то процесс коммутации происходит сразу в нескольких секциях. Каждая из них наводит в соседних с нею э. д. с. взаимоиндукции, которая, так же как и э. д. с. самоиндукции, стремиться задержать (замедлить) изменение тока в коммутируемых секциях. Суммарное значение этих э. д. с. рассматривается в общем случае как реактивная э. д. с. Итак, мы установили, что реактивная э. д. с. оказывает на процесс коммутации замедляющее влияние. При преобладании в коммутируемых секциях реактивной э. д. с. коммутация так и называется замедленной. Теперь очевидно, что, если речь идет о преобладании реактивной э. д. с, в коммутируемых секциях должна иметь место еще какая–то э. д. с. и она действительно существует. Более того, ее стремятся искусственно создать. Она имеет назначение возбудить в коммутируемых секциях так называемую коммутирующую э. д. с, примерно равную по величине и противоположную по направлению реактивной э. д. с. Коммутирующая э. д. с. создается либо сдвигом щеток с геометрической нейтрали, т. е. введением активной стороны коммутирующей секции в поле главного полюса настолько, чтобы создать э. д. с. нужной величины, либо установкой в нейтральной зоне специальных дополнительных полюсов, обмотки которых включаются последовательно с якорем машины, чем достигается автоматическое регулирование силы коммутирующего поля в соответствии с изменением тока якоря. Таким образом, дополнительные полюса создают свое поле в зоне коммутации, которое должно компенсировать реактивную э. д. с, вредно влияющую па процесс коммутации.

Если коммутирующая э. д. с. в коммутируемых секциях преобладает по величине над реактивной э. д. с, то коммутация при этом носит ускоренный характер. Замедления или ускорения процесса коммутации можно добиться двумя путями: либо изменением силы поля дополнительных полюсов, либо изменением положения щеток на коллекторе. При замедленной, равно как и ускоренной, коммутации имеет место неравномерное распределение тока под щеткой. Это неблагоприятно сказывается на процессе коммутации, вызывая искрообразования под щетками. При замедленной коммутации к моменту разрыва контакта между щеткой и коллекторной пластиной в соответствующей секции остается более или менее значительный запас электромагнитной энергии, которая освобождается с образованием дугового разряда под сбегающим краем щетки. При ускоренной коммутации происходит резкое нарастание тока в начале процесса коммутации, в этом случае появится искрение в виде пробоя воздушного промежутка между коллекторной пластиной и набегающим краем щетки. При значительном ускорении коммутационного процесса появляется искрение и под сбегающим ее краем.

7. Причины искрения щеток на коллекторе.

Причины механического характера в основном влияют на состояние контакта между щеткой и коллектором, что решающим образом сказывается на коммутации. Этими причинами являются все виды вибрации деталей и узлов машины, вызываемые наличием несбалансированных масс вращающихся деталей, недостаточно точной сцентрированностью валов машин, неточной подгонкой поверхностей сочленяемых деталей и узлов и их механическим износом. Меры по устранению этих дефектов ясны из определения самих дефектов. *Причины электромагнитного характера* в общем случае вызываются двумя дефектами: несовершенством конструкции машин и нарушением технологии их сборки и регулировки. Под нарушением технологии сборки и регулировки здесь имеются в виду нарушение норм симметрирования зазоров, расстояний между полюсами и щеточными рядами и т. п., а также неточная настройка дополнительных полюсов. Все это приводит к несоответствию форм и величин взаимодействующих электромагнитных полей условиям благоприятного протекания коммутационного процесса, что повышает вероятность новообразования под щетками. Несколько особое место занимает искрение потенциального характера, возникающее из–за значительной разности потенциалов между соседними коллекторными пластинами. Эта разность тем выше, чем больше рабочее напряжение машины и количество ее полюсов и чем меньшее количество пластин имеет коллектор. Кроме того, неравномерность распределения индукции в воздушном зазоре под полюсами, возникающая из–за смещающего действия поперечной составляющей реакции якоря, создает соответствующее неравномерное распределение потенциала даже между теми пластинами, секции которых в данный момент находятся под одним полюсом. Результаты работ ряда исследователей привели к выводу, что, если максимальное напряжение между соседними пластинами превышает 25–28 *в* в машинах большой мощности, 30–35 *в* в машинах средней и 50– 60 *в* в машинах малой мощности, уже при незначительном запылении промежутков между коллекторными пластинами медно–угольной пылью происходит пробой этих промежутков. Возникающий при этом дуговой разряд между любой парой пластин ионизирует воздух около рабочей поверхности коллектора, создавая благоприятные условия для возникновения разрядов по всему коллектору, что может привести к возникновению кругового огня, т. е. возникновению дуги, перекрывающей расстояние между щеточными рядами. Это явление, как правило, приводит к тяжелой аварии, связанной с необходимостью ремонта щеточного аппарата и проточки коллектора, а часто и к необходимости капитального ремонта машины. Возникновению кругового огня, кроме того, особенно способствуют резкие изменения тока машины.

При этом резко изменяется не только величина тока якоря, но и его реакция. Магнитный же поток дополнительных полюсов отстает во времени из–за демпфирующего действия вихревых токов в теле сердечников полюсов. Это создает значительное несоответствие между величинами реактивной *эдс* в секции и коммутирующей *эдс* и сильное искажение основного магнитного потока, что вызывает повышенное подщеточное искрение. Поэтому дополнительные полюсы у машин, предназначенных работать в условиях, допускающих толчкообразную нагрузку, могут настраиваться таким образом, чтобы получить значительно ускоренную коммутацию. Иначе говоря, дополнительные полюса усиливаются настолько, чтобы только не вызывать опасного искрения при нормальном режиме работы, зато при резком изменении нагрузки отставание коммутирующего поля несколько компенсируется такой настройкой.

8. Проверка соответствия дополнительных полюсов условиям коммутационного процесса.

В дальнейшем, кроме случаев особо оговоренных, будем исходить из того, что все механические причины, неблагоприятно влияющие на работу машины, исключены полностью. Только с этом случае имеет смысл говорить о точной настройке дополнительных полюсов. Степень соответствия дополнительных полюсов условиям коммутации может быть определена двумя способами: снятием кривых распределения потенциала в щетках работающей под нагрузкой машины (в дальнейшем будем называть просто потенциальными кривыми) и определением области безыскровой коммутации.

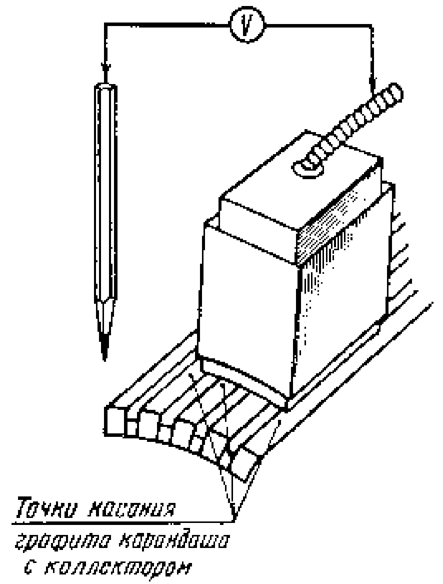


Рис. 11. Схема для снятия потенциальных кривых.

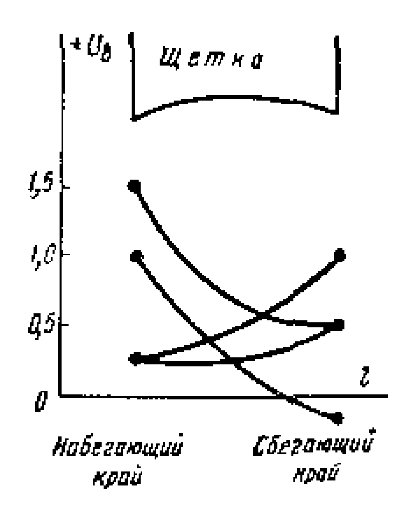


Рис. 12. Потенциальные кривые.

Метод потенциальных с коллектора кривых при всей своей простоте имеет тот существенный недостаток, что он дает только качественный анализ, не отвечая на вопрос, на какую величину нужно изменить магнитный поток дополнительных полюсов для получения оптимальной коммутации. Метод определения области безыскровой коммутации дает достаточно точный ответ как качественного, так и количественного характера. Метод потенциальных кривых использует то обстоятельство, что замедление или ускорение коммутационного процесса изменяет соотношение плотностей тока в сбегающем и набегающем краях щетки работающей под нагрузкой машины. Измеряя распределение потенциала в щетке, который примерно пропорционален распределению проходящего по щетке тока, можно ответить на вопрос, как протекает коммутационный процесс. Для проведения этого опыта к токоведущему жгутику щетки подключается вольтметр, второй вывод которого гибким проводником соединяется с графитом простого карандаша. Опыт производится при роботе машины с неизменной величиной тока якоря. Касаясь коллектора в пределах контактной дуги щетки графитом карандаша, отсчитывают показания вольтметра в точках возле набегающего края, середины и сбегающего края щетки (рис. 11). По полученным результатам строится график распределения потенциала в щетке (рис. 12). Если разность потенциалов выше у набегающего края щетки, значит, коммутация ускоренная, а дополнительные полюсы слишком сильны, и наоборот. Наиболее благоприятно протекает процесс коммутации когда разность потенциалов у сбегающего края щетки составляет 0,7–0,8 величины разности потенциалов у ее набегающего края. Следует особо отметить, что все сказанное справедливо в том случае, если щетки установлены строго на геометрической нейтрали. Если потенциальные диаграммы построить для каждого щеточного ряда машины, то по семейству кривых можно судить о симметричности распределения индукции в воздушном зазоре (при условии симметричной расстановки щеток), т. е. можно получить много дополнительных данных о состоянии машины. Вольтметр для проведения опыта нужно выбирать из того расчета, что измеряемые величины не превышают 3 *в*.

9. Определение области безискровой коммутации и настройка дополнительных полюсов.

Основным методом для оценки устойчивости работы машины достоянного тока в любых режимах ее работы и расчета дополнительных полюсов для получения оптимального коммутирующего поля является метод определения области безыскровой коммутации, предложенный В. Т. Касьяновым. Суть метода заключается в том, чтобы, искусственно меняя силу поля дополнительных полюсов машины в различных режимах ее работы и наблюдая за степенью искрения щеток на коллекторе, получить наглядную картину степени соответствия дополнительных полюсов условиям коммутационного процесса и по полученным результатам настроить эти полюсы таким образом, чтобы они обеспечивали минимальное, а если можно, то и полное отсутствие искрения во всех или в заданных режимах работы машины.

Не разбирая всех возможных схем для определения области безыскровой коммутации, остановимся на самой удобной схеме добавочного питания обмотки дополнительных полюсов и компенсационной обмотки (там, где она имеется) от постороннего источника тока (в дальнейшем будем именовать методом подпитки). Для проведения этой работы собирается схема, как указано на рис. 13. Проще в качестве источника дополнительной подпитки применять аккумуляторные батареи, располагаемые вблизи испытываемой машины. Для этого достаточны батареи напряжением 10–20 *А*, емкостью 20–60 *А/ч*. Вполне подходят для этой цели и автомобильные аккумуляторные батареи.

Расположение батарей вблизи машины позволяет изменением питающего напряжения (изменением количества включаемых в схему элементов батареи) избавиться от необходимости иметь мощный реостат.

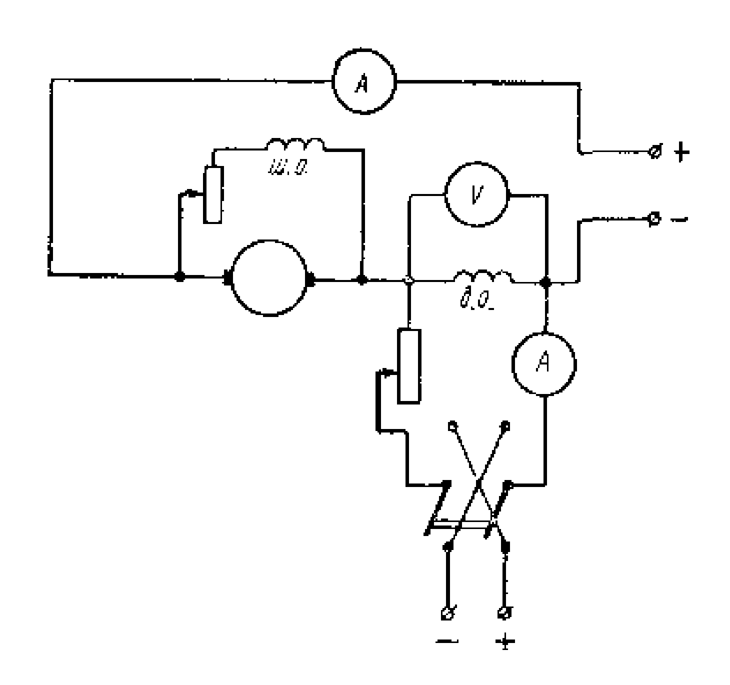


Рис. 13. Схема для определения области безыскровой работы.
ш. о – шунтован обмотка;
д. о. – обмотка дополнительных полюсов.

Для плавного изменения тока в небольших пределах можно использовать кусок нихромовой шины или проволоки сечением 2–3 *мм*² длиной 0,5–1 *м*. Необходимо лишь укрепить вставку из высокоомного материала так, чтобы исключить возможность непроизвольного нарушения схемы. Роль ползунка реостата при этом может выполнять Простейший зажим, изготовленный из двух стальных пластин, скрепленных между собой двумя стяжными винтами, к одному из которых припаивается кусок гибкого провода. Проводники, используемые для подключения схемы к зажимам обмотки дополнительных полюсов, следует выбирать не короче 2 *м*. и сечением не более 4 *мм*². Это целесообразно делать с той целью, чтобы даже при случайных коротких замыканиях в собираемой схеме не вызвать значительной шунтировки обмотки полюсов. Желательно, чтобы амперметр, установленный в цепи тока подпитки, имел нуль в середине шкалы. В этом случае его не приходится переключать при изменении направления тока. Перед подключением подготовленной схемы к машине необходимо испытать схему на плавность регулирования тока подпитки. Для этого схема замыкается накоротко. Ток короткого замыкания при минимальной величине питающего напряжения или при введенном реостате не должен превышать 1–2 *А*, а регулирующее устройство должно изменять ток без резких скачков. Если якорь машины включен в рассечку обмотки дополнительных полюсов, как показано на рис. 14, то необходимо собрать две идентичные схемы для каждой группы полюсов и ток подпитки изменять в обеих группах одновременно на одну и ту же величину. К началу работы по определению области безыскровой работы щетки должны быть установлены точно в нейтральное положение и хорошо пришлифованы в режиме нормальной эксплуатации, а сама машина прогрета при номинальной нагрузке в течение 3–4 *ч*. При проведении этого опыта следует помнить, что гораздо труднее погасить искрение щеток, чем вызвать его. Исходя из этого, и граница искрения определяется не по появлению первой искры под любой щеткой, а по исчезновению под всеми щетками уже вызванного искрения. Опыт начинается с холостого хода машины. В обмотку дополнительных полюсов подается ток подпитки Δi произвольного направления от постороннего источника тока до появления искрения.

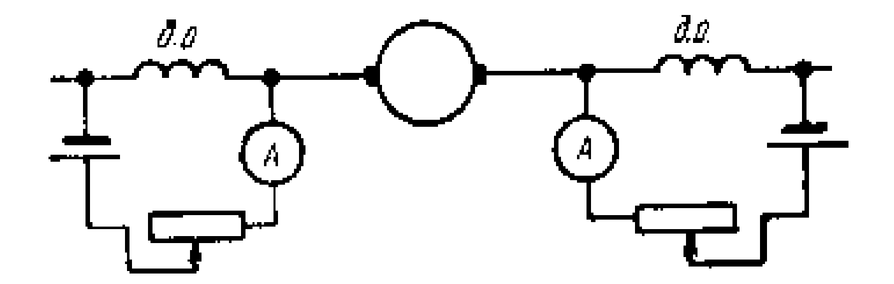


Рис. 14. Схема для определения области безыскровой коммутации при включении якоря между двумя ветвями обмотки дополнительных полюсов.

После этого снижается ток подпитки, фиксируется величина тока, при которой искрение исчезнет под всеми щетками. Затем направление тока подпитки меняется на обратное и таким же образом вновь фиксируется граница искрения. Подобным же образом производится последовательное определение границ искрения при различных режимах нагрузки машины, например, при токах: 20, 40, 60, 80, 100 и 120% величины номинального. Для машин, у которых невозможно добиться полного отсутствия искрения, определяется граница области одинаковой, минимальной для данной машины интенсивности искрения. По полученным результатам строится графическое изображение области безыскровой (одинаковой интенсивности) работы. На рис. 15 эта область ограничена кривыми *ab* и *cd*. На оси ординат откладываются величины тока подпитки Δi, а на оси абсцисс – ток нагрузки машины *Iя* в абсолютных величинах или процентном отношении к номинальному. Правильное обозначение полярности тока подпитки проверяется по показаниям вольтметра, включенного параллельно обмотке дополнительных полюсов. Если ток подпитки увеличивает напряжение, измеряемое вольтметром, полярность его положительна. Простым геометрическим построением на графике определяется положение средней линии безыскровой области. Отклонение средней линии от оси абсцисс и ширина безыскровой области характеризуют коммутационный процесс качественно и дают возможность определить данные для изменения намагничивающей силы дополнительных полюсов с целью получения наилучших условий коммутации, т. е. получения минимального искрения.
Ширина области безыскровой коммутации у хорошо собранных машин ориентировочно составляет 3–5% величины номинального тока при их мощности выше 50 *кВт* и может возрастать до 25% у машин меньшей мощности.

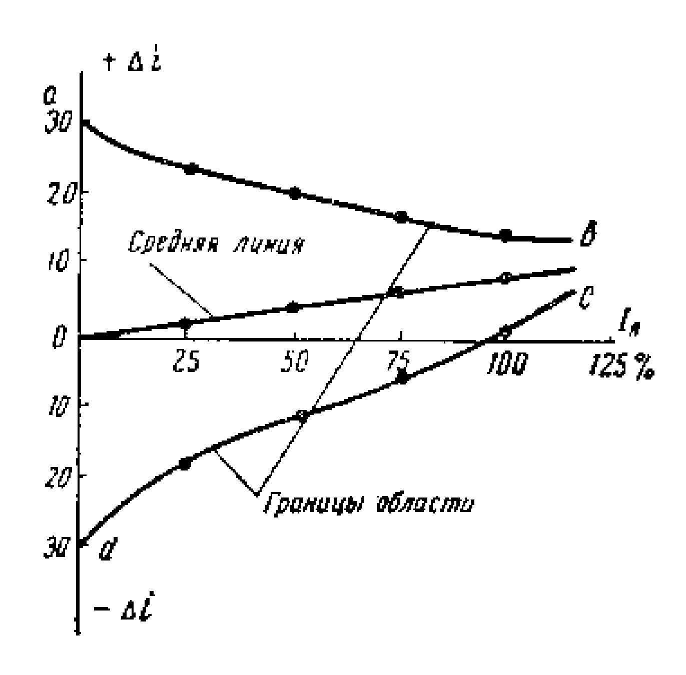


Рис. 15. Графическое изображение области безыскровой коммутации.

Отклонение средней линии вверх в область положительной подпитки свидетельствует о замедленной коммутации (недостаточной силе дополнительных полюсов). Хорошей настройкой можно считать такую, при которой полюсы создают несколько ускоренную коммутацию. Степень оптимального ускорения, как уже говорилось, можно определять по потенциальным кривым. Получив данные о силе дополнительных полюсов, следует произвести расчет оптимальной их силы. Расчет, как правило, производится по данным, полученным при номинальном токе машины. Изменение коммутирующего поля может быть произведено изменением количества витков дополнительных полюсов или изменением эквивалентного воздушного зазора. Эквивалентный воздушный зазор δэ в простейшем случае равен сумме зазоров, δэ = $\delta_1 + \delta_2$ (рис. 16). Изменение эквивалентного воздушного зазора может быть выполнено следующим образом. Кроме воздушного зазора δ_1 между дополнительным полюсом и якорем машины может быть второй воздушный зазор δ_2 между сердечником полюса и станиной. Если этого зазора нет, то его можно ввести удалением в этом месте стальных прокладок и установкой прокладок из немагнитного материала. Если же стальных прокладок между полюсами и станиной нет, то зазор δ_2 вводится за счет уменьшения зазора δ_1 или укорочения на некоторую величину сердечника полюса с установкой взамен удаленного металла немагнитных прокладок. При выборе метода изменения эквивалентного зазора следует учитывать, что введение зазора δ_2 может оказаться особенно желательным при сильном влиянии поля главных полюсов на поле в зоне коммутации, о чем более подробно будет сказано в п. 10. У машин, имеющих компенсационную обмотку, следует изменять силу дополнительных полюсов именно изменением зазора δ_2 между полюсом и станиной. Если зазор δ_2 вводится или изменяется у машин, не имеющих компенсационной обмотки, то нужно помнить, что при расчете оптимального зазора, по приведенным ниже формулам, определяется величина воздушного зазора δ_1 между полюсом и якорем, а зазор δ_2 действует на силу дополнительных полюсов в 1,5–2 раза сильнее, чем δ_1. Если при настройке дополнительных полюсов вводится воздушный зазор δ_2, то дополнительные полюсы необходимо закрепить болтами из немагнитного материала, например латунными. В противном случае вследствие шунтирующего действия стальных болтов нарушается линейность характеристики полюсов.

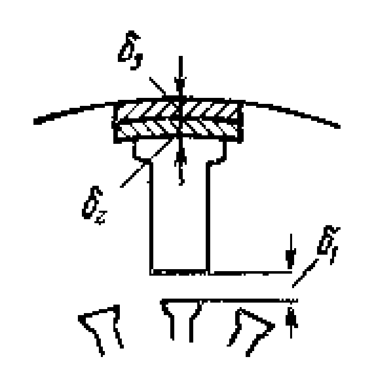


Рис. 16. Распределение зазоров дополнительного полюса.
δ_1 – зазор между полюсом и якорем;
δ_2 – зазор заполненный немагнитными прокладками; δ_3 – зазор заполненный прокладками из магнитного материала (стали).

Расчет нового зазора под дополнительными полюсами, по данным опыта по определению области безыскровой коммутации, производится по формулам В. Г. Касьянова:

$$\delta\text{нов} = \frac{\delta с\text{т}}{1 + \frac{K\Delta i}{I\text{я}}}$$

где δнов и δст – новый и старый зазоры, *мм.*; *Iя* – ток машины, в том режиме, по которому ведется настройка машины; Δi –отклонение (в том же режиме) средней линии от оси абсцисс или от того положения, которое она должна занять после настройки.
В формулу величина отклонения подставляется с учетом знака, который выбирается в зависимости от того, усиливаются (+) или ослабляются (–) полюса.

Коэффициент, зависящий от обмоточных данных машины:

$$K = \frac{\theta}{\theta - 1}$$

Здесь θ есть отношение намагничивающей силы добавочных полюсов и компенсационной обмотки к намагничивающей силе реакции якоря. Оно может быть найдено по формуле:

$$\theta = \frac{8pa(n\text{д} + n\text{к})}{N \times a\text{д}}$$

где $2p$ – число полюсов; $2a$ – число параллельных ветвей обмотки якоря;
nд – число витков обмотки дополнительных полюсов (на один полюс);
nк – число витков компенсационной обмотки (на один полюс);
N – общее число проводников на якоре;
aд – число параллельных ветвей обмотки дополнительных полюсов и компенсационной обмотки.
Число параллельных ветвей якоря зависит от схемы обмотки якоря, например для простой волновой обмотки $2a$ всегда равно 2. Для простой петлевой обмотки $2a = 2p$, т. е. равно количеству полюсов, для комбинированной (лягушечьей) обмотки четырехполюсной машины $2a = 8$. Сильные дополнительные полюсы можно ослабить и, не прибегая к изменению воздушных зазоров. Для этого можно провести часть тока якоря через специально устанавливаемый шунт обмотки дополнительных полюсов (рис. 17). Сопротивление шунта рассчитывается следующим образом. Ток в шунтирующем сопротивлении должен быть равен отклонению средней линии от желаемого для нее положения:

$$I\text{ш} = \Delta i$$

Из обязательного условия $U_{\text{д.о}} = U_{\text{ш}}$ можно записать:

$$\Delta i r\text{ш} = (I\text{я} - \Delta i) \times r\text{д. о}$$

или

$$r\text{ш} = \frac{I\text{я} - \Delta i}{\Delta i} \times r\text{д. о}$$

где Uд.о и Uш – падение напряжения соответственно на обмотке дополнительных полюсов и на шунте; rд.о и rш – сопротивление обмотки дополнительных полюсов и шунта.
Однако если машина допускает скачкообразное изменение нагрузки, шунтирующее сопротивление, рассчитанное по активному сопротивлению обмотки полюсов, должно еще обладать и индуктивным сопротивлением, с таким расчетом, чтобы постоянная времени шунта была бы равна или больше постоянной времени обмотки шунтируемых полюсов. В противном случае, при толчках нагрузки большая полюсов часть добавочного тока нагрузки будет проходить через шунтирующее сопротивление.

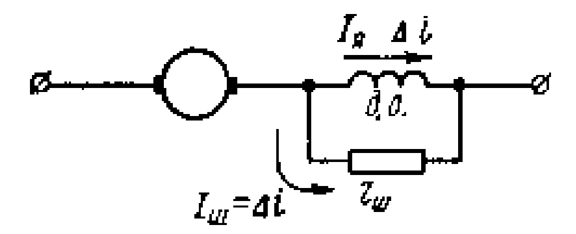


Рис. 17. Схема установки шунтирующего сопротивления для уменьшения тока в обмотке дополнительных полюсов.

Пример. У четырехполюсного генератора $2p = 4$, $P = 75$ *кВт*, Iн = 325 *А*, $U = 230$ *в*, дополнительные полюсы соединены последовательно aд = 1. На каждом дополнительном полюсе 9 витков (nд = 9). Компенсационной обмотки нет. Якорь имеет 65 пазов, по два активных проводника в пазу $N = 2 \times 65 = 130$. Обмотка якоря простая волновая $2a = 2$. Зазор под дополнительными полюсами $\delta_{ст}$ равен 11,6 *мм*. При определении области безыскровой коммутации оказалось, что при номинальном токе якоря средняя линия имеет отклонения вниз от оси абсцисс Δi = – 9a По приведенным формулам произведен расчет оптимального зазора δнов:

$$\theta = \frac{4 \times 4 \times (9 + 0)}{130 \times 1} = 1{,}11$$

$$K = \frac{1{,}11}{1{,}11 - 1} = 10{,}1$$

$$\delta\text{нов} = \frac{11{,}6}{1 - 10{,}1 \times \left(\frac{9}{325}\right)} = 16{,}2 \text{ мм.}$$

В результате подсчета оказалось, что новый воздушный зазор между дополнительными полюсами и якорем должен быть ранен 16,2 *мм*., т. е. необходимо было увеличить существующий зазор на 4,6 *мм*. Вместо этого был введен второй воздушный зазор δ_2, величиной 2,1 *мм*. между полюсами и станиной в результате замены имевшихся стальных прокладок на прокладки из латуни. Стальные болты, крепящие дополнительные полюсы, также были заменены латунными. При определении области безыскровой работы на этой машине после изменения воздушных зазоров средняя линия безыскровой зоны отклонялась в область отрицательной подпитки всего на 1 *а*.

10. Меры улучшения коммутации.

До сих пор шла речь о выявлении и устранении причин, нарушающих нормальную работу машин. Если же необходимо добиться улучшения работы машины, неудовлетворительная коммутация которой вызвана несовершенством конструкции или изменением режима работы, то тогда, но только после устранения причин, ухудшающих работу, следует принимать меры, которые улучшают условия коммутации. К этим мерам следует отнести:

а) подбор щеток с более высокими коммутирующими свойствами;
б) установку сдвоенных (разрезных) щеток;
в) раздвижку щеток;
г) перераспределение воздушных зазоров под полюсами;
д) увеличение рабочей поверхности щеток.

Несмотря на то, что подбор щёток относится не к мерам по устранению причин, ухудшающих работу, а к мерам по улучшению коммутации, все же об этом уже говорилось выше, поскольку вопрос о подборе необходимо решать каждый раз при замене щеток иностранных фирм на щетки отечественного производства. Применение сдвоенных щеток содействует улучшению коммутации, поскольку в этом случае улучшается механический контакт щетки с коллектором и увеличивается сопротивление уравнительному току, проходящему вдоль щетки из–за разности потенциалов коллекторных пластин, одновременно замыкаемых щеткой. В самом деле, если машина работает на одинарных щетках, по причинам вибрации, нарушения цилиндричности коллектора или незначительного выступания отдельных коллекторных пластин, что почти неизбежно для реальных машин, в определенные моменты времени некоторые щетки или щетки целого ряда одновременно ухудшают или даже теряют контакт с коллектором, что приводит к дополнительным уравнительным токам в якоре и, естественно, ухудшению условий коммутации.

Если же на этой машине установить сдвоенные щетки, то в то время как одна из сдвоенных щеток будет ухудшать или терять контакт, другая щетка этой пары будет работать нормально. Уменьшение уравнительного тока вдоль щеток обуславливается тем, что сопротивление цепи, образованной контактами двух щеток с коллектором, телом щеток и соединяющими их токоведущими поводками, значительно выше, нежели сопротивление между набегающим и сбегающим краями цельной щетки. Для этой же цели можно произвести надрезы тела щетки, как указано на рис. 18. Однако увеличение сопротивления для уравнительных токов у таких щеток меньше, чем у сдвоенных, тем более что надрезы нельзя делать глубже 10–15 *мм*.

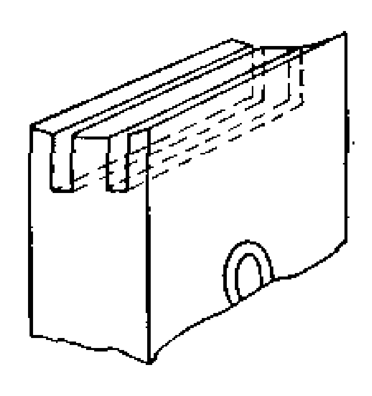


Рис. 18. Щетка с надрезами.

Раздвижкой щеток называют перемещение их из общего ряда по ходу вращения коллектора. При этом из каждого щеточного ряда может быть выдвинуто от одной щетки до половины общего количества. Практически раздвижка производится в пределах 4–8 *мм*. Решить вопрос о наиболее выгодной величине раздвижки можно лишь практическим путем. Оценку полученных результатов можно производить, только сравнивая области безыскровой работы, полученные при различных величинах раздвижки щеток. Притирка щеток и установка траверсы в нейтральное положение должны производиться после каждого изменения положения выдвигаемых щеток. Применить раздвижку можно вместо надрезов тела щетки в том случае, когда щетка загружается уравнительным током из–за большой разности потенциалов у коллекторных пластин, одновременно замыкаемых щеткой (см. выше). При этом следует уменьшить размер щеток по их толщине, т. е. уменьшить количество коллекторных пластин, одновременно замыкаемых щеткой. С целью сохранения периода коммутации нужно произвести раздвижку на величину, равную сокращению размера щетки.

Пример. Величина коллекторного деления (толщина пластины плюс величина промежутка между пластинами) 5 *мм*., а размер щеток 20×30×45 *мм*. Для уменьшения перекрытия пластин одной щеткой можно установить щетки размером 16×30×45 *мм*., но произвести раздвижку на 4 *мм*. При раздвижке нельзя забывать, что плотность тока в щетках (в случае изменения размера щеток) не должна превышать допустимой величины, а величина раздвижки не должна быть кратной коллекторному делению.

Бывают случаи, когда поле главных полюсов оказывает сильное влияние на коммутирующее поле, искажая его. Судить об этом можно, сравнивая области безыскровой работы, построенные для режима короткого замыкания, когда главное поле практически отсутствует, и для режима, когда машина нормально возбуждена. Чем больше отличаются друг от друга сравниваемые области, тем сильнее влияние главного поля на поле в зоне коммутации.
Это влияние может быть обнаружено и сравнением положений средних линий областей безыскровой коммутации, полученных при различном положении щеточной траверсы (в нейтральном и несколько смещенных положениях). Чем резче изменение положения средней линии, тем сильнее влияние главных полюсов.

Для уменьшения этого влияния следует произвести перераспределение воздушных зазоров, уменьшая зазоры δ_1 между якорем и дополнительными полюсами и соответственно увеличивая или вводя, если их не было, зазоры δ_2 между сердечниками полюсов и станиной. Эту работу тоже приходится проводить экспериментальным путем, подбирая наиболее выгодные величины зазоров. Увеличение контактной поверхности щеток производится не для того, чтобы снизить плотность тока в них. Здесь дело в том, что при работе машины на участке цепи щетка – коллектор рассеивается некоторая мощность. Как только эта мощность превысит определенную величину, начинается искрообразование, и оно тем больше, чем больше значение мощности, приходящейся на единицу площади контактной поверхности щетки (удельная мощность).
Вот для снижения удельной мощности рассеяния и можно применить метод увеличения контактной поверхности щетки. Конечно, нельзя при этом увеличивать перекрытия щеткой коллекторных пластин, можно лишь добавлением щеток в каждый щеточный ряд использовать всю активную длину коллектора.

11. О некоторых неисправностях электрических машин.

В этом параграфе будут рассмотрены лишь такие повреждения машин, в определении причин которых часто допускаются ошибки.
а) Наблюдается подгорание групп пластин, расположенных на коллекторе на расстоянии, соответствующем шагу обмотки по коллектору, причем после проточки коллектора начинают подгорать те же самые пластины. Почти всегда такое повреждение расценивается как повреждение в схеме обмотки якоря и, несмотря на то, что никаких повреждений проверкой обнаружить не удается, мнение о причинах нарушения нормальной работы не изменяется. Между тем чаще всего причиной этого вида нарушения нормальной работы машины является значительная магнитная асимметрия машины или неточная настройка дополнительных полюсов. Подгорание же одних и тех же пластин происходит потому, что всегда начинают подгорать именно те пластины, к которым подключены секции, скомпенсированные хуже других. Возможна и вторая причина, приводящая к тому же результату: динамическая неуравновешенность якоря в целом или отдельно коллектора при наличии некоторой магнитной асимметрии или неточной настройки полюсов. Такая неуравновешенность коллектора возможна для машин с посадкой коллектора на консольную втулку. В частности, к таким машинам относятся возбудители турбогенераторов типа ВТ. Неуравновешенность якоря или коллектора вызывает ухудшение контакта щетки с коллектором в районе "тяжелой" (бьющей) части коллектора, а так как проточкой коллектора динамическая неуравновешенность не устраняется, то каждый раз начинают подгорать те же самые пластины. Подгорание группы пластин, расположенных на расстоянии, соответствующем шагу обмотки по коллектору, вызывается общим ухудшением коммутационных условий в секции при ухудшении щеточного контакта с коллекторной пластиной, соединенной с одним из концов этой секции. Для устранения повреждения следует ликвидировать магнитную асимметрию, настроить дополнительные полюсы и при необходимости выполнить динамическую балансировку якоря или, если вибрация вызывается нарушением центровки, осуществить правильную центровку машины.
б) Наблюдается самопроизвольное перемагничивание машины при толчках нагрузки. Часто встречающейся причиной этой неисправности является значительное смещение щеток с геометрической нейтрали. Это смещение в свою очередь чаще всего является следствием попытки уменьшить искрение щеток путем подбора положения траверсы, т. е. выбором подходящего коммутирующего поля где–то между дополнительным и главным полюсами вместо создания нужного коммутирующего поля регулировкой дополнительных полюсов.

У машин малой мощности с облегченными условиями коммутации перемагничивание можно наблюдать в результате неправильного соединения схемы полюсов. Для устранения повреждения требуется установка щеток на геометрическую нейтраль и регулировка дополнительных полюсов. Для маломощных машин необходима и проверка схемы соединений обмоток статора.
в) После сборки машина не возбуждается. Чаще всего это является следствием обрыва обмотки возбуждения или нарушения схемы соединений. У некоторых типов машин, работающих в режиме генератора, такое явление может быть вызвано неправильным подключением перемычек, подходящих к щеточной траверсе, вследствие чего чередование главных и дополнительных полюсов получается неправильным. Особенностью здесь является то, что большинство машин при этом возбуждается, но под нагрузкой у них сильно искрят щетки.

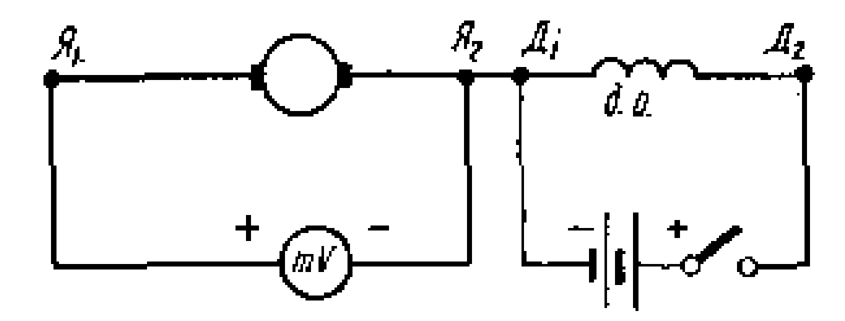


Рис. 19. Схема для определения согласования дополнительных полюсов.

Для устранения повреждения следует проверить схему соединений и исправность обмотки возбуждения. Обмотка дополнительных полюсов должна включаться так, чтобы за каждым главным полюсом по ходу вращения якоря следовал дополнительный полюс противоположной полярности у машин, работающих в режиме генератора, и одноименный с главным – у машин, работающих в режимах двигателя. При переходе машины из двигательного в генераторный режим и обратно никаких переключений в схеме производить не нужно, так как изменение чередования полюсов происходит автоматически за счет изменения направления тока в якорной цепи при сохранении полярности на зажимах машины. Проверку полярности дополнительных полюсов нельзя производить в режиме холостого хода машины, так как ток в обмотке этих полюсов в режиме холостого хода практически отсутствует и магнитный поток создается только за счет остаточного магнетизма. Правильность включения обмотки дополнительных полюсов следует проверять сразу же после сборки машины. Для этого собирается схема, как указано на рис. 19. Источник постоянного тока и милливольтметр (миллиамперметр, гальванометр) к зажимам $Я_2$ и $Д_1$ должны подключаться одноименными зажимами, тогда при замыкании цепи источника тока стрелка прибора будет отклоняться в сторону увеличения показаний шкалы (вправо), при правильном включении обмотки и влево при неправильном ее включении. В качестве источника тока лучше использовать аккумуляторную батарею напряжением не более 6 *в*.
г) В процессе пуска или остановки машины при определенной скорости вращения наблюдается повышенная вибрация якоря, а иногда и задевание валом или другими вращающимися частями якоря неподвижных частей машины. Причинами неисправности могут быть недостаточно точная динамическая балансировка якоря или неудовлетворительное центрирование валов соединяемых машин. У возбудителей турбогенераторов типа ВТ–120–3000, например, наблюдалась вибрация вследствие того, что центрирование якоря относительно ротора генератора было произведено без учета нагрева стульев опорных подшипников. Вследствие разного нагрева стульев при работе генератора разность в величинах тепловых удлинений стульев составляла 0,03–0,06 *мм*.

Ясно, что в холодном состоянии ось вала якоря возбудителя следовало располагать выше оси вала ротора на эту величину. Причиной вибрации в процессе пуска может явиться также значительная магнитная асимметрия машины, если возбуждение ее нарастает раньше, чем скорость вращения превысит критическую. Для устранения вибрации в процессе пуска и остановки следует проверить центрирование машин и динамическую балансировку якоря. Кроме того, машины, склонные к повышенной вибрации, не следует возбуждать раньше, чем будет пройдена критическая скорость вращения. Если критическая скорость не известна, то возбуждать машину следует только по достижении номинальной скорости вращения.

Литература

1. Вегнер О. Г., Теория и практика коммутации машин постоянного тока, Госэнергоиздат, 1961.
2. Жерве Г, К., Промышленные испытания электрических машин, Госэнергоиздат, 1959.
3. Касьянов В. Т., Регулировка добавочных полюсов машин постоянного тока, "Электричество", 1934, № 20 и 1935, № 1.
4. Костенко М. П. и Пиотровский Л. М., Электрические машины, т. 1, Госэнергоиздат, 1957.
5. Карасев М. Ф., Коммутация коллекторных машин постоянного тока, Госэнергоиздат, 1961.
6. Лившиц П. С., Щетки для электрических машин, Госэнергоиздат, 1961.

Содержание

Бойко Олег Александрович
Наладка коммутации машин постоянного тока.
М.–Л. издательство "Энергия", 1966 г.

(Б–ка электромонтера, вып. 132)

Редактор Л. В. Росман, техн. редактор Г. Е. Ларионов
Сдано в пр–во 18/X/1965 г.
Подписано к печати 24/1/1966 г.